

은행나무와 곰솔에 處理된 人工酸性비에 의한 잎의 形態變化

金明蘭·蘇雄永*

全北大學校 自然科學大學 生物學科

은행나무와 곰솔의 잎은 pH 3.2 이하의 인공산성비 처리구에서 피사반점과 황화현상 및 조기노화 현상이 나타났다. 잎표면 구조의 관찰에서 은행나무 잎은 pH 2.4의 처리구에서 잎표면 왁스층의 침식이 심하게 일어난 반면 곰솔의 경우 pH 4.0 이하의 처리구에서 왁스층의 침식이 심하게 일어났다. 은행나무 잎은 pH 3.2 이하에서 표피세포와 해면조직에서 구조의 변화가 나타났으나 유관속조직은 정상적인 구조를 나타냈다. 엽육세포의 크기는 산도가 높아질수록 작아지고 세포간극이 커졌다. 곰솔의 잎은 표피세포보다 엽육조직과 유관속조직의 피해가 현저하였다. 은행나무의 기공의 크기와 모양은 인공산성비의 영향을 받지 않았으나 기공지수와 기공의 광구 크기는 높은 산도에서 증가하였다. 또한 인공산성비가 처리된 은행나무와 곰솔 잎의 기공들은 열려 있었다.

주요어: 인공산성비, 왁스층 침식, 기공, 은행나무, 곰솔

대기오염 물질 및 산성비는 식물의 성장에는 물론 식물의 조직학적인 수준에서도 변화를 일으킬 수 있는 스트레스 요인이 될 수 있다. 인공산성비는 초본과 송백류 모두에서 잎의 피사현상을 일으키는 것으로 보고되었다(Shriner *et al.*, 1975; Jacobson and Van Leuken, 1977; Lang *et al.*, 1978; Lee *et al.*, 1981; Johnston *et al.*, 1982). 잎의 피해를 일으키는 pH는 일반적으로 3.0-3.2의 범위이나, 왁스층이 발달한 잎을 가지고 있는 골나무속은 pH 2.0 이하(Heagle *et al.*, 1978) 또는 산성비에 민감한 농작물은 pH 4.0 이하로 그 피해 범위가 다양하게 나타난다(Mohamed, 1978; Lee *et al.*, 1981). 이들 연구에서는 산성비를 산도별로 처리하여 잎의 외형적인 피해 정도만을 관찰하였다.

피해를 입은 잎의 조직학적인 연구로는 잎의 구조적인 변화를 보고한 바 있으나 주로 광엽식물을 다룬 것이다(Ferensbaugh, 1976; Evans and Curry, 1979; Crang and McQuattie, 1986). 산성비의 피해로 인한 엽육조직의 구조변화는 주로 잎맥, 모용, 기공 등이 있는 잎표면의 특정한 부위에서 나타난다는 보고(Evans *et al.*, 1977; Evans *et al.*, 1978; Evans and Curry, 1979)와 강낭콩에서 모용과 기공의 구조는 산성비와 관련이 없다는 상반된 보고가 있다(Paparozzi and Tukey, 1983). 또한 산성비에 의한 잎의 피해는 기공의 공변세포의 기능과 구조에 변화를 일으키는 것으로 알려졌다(Jacobson, 1980).

인공산성비는 가스의 확산과는 달리 기공이나 큐티클을 통해서 충분히 확산되지 않기 때문에, 잎조직의 피해의 첫단계는 잎표면 왁스층의 손상으로 예상되며 산성비에 의해 일어나는 피해 정도는 잎표면으로부터 내부로 피해의 진행상태를 관찰할 수 있는 조직학적인 연구가 필요하다. 그리고 조직학적인 변화는 외부의 가시적인 잎의 피해보다 산성비에 대한 초기 반응으로 나타날 것이므로 종별 감수성의 차이를 이해하기 위한 선행 지표로서 조직의 반응을 확인하는 것이 중요한 과제일 것이다.

따라서 본 실험은 인공산성비에 의한 낙엽수종인 은행나무와 침엽수종인 곰솔간의 잎의 피해현상을 형태학적으로 비교하고 조직의 구조적 변화를 관찰하고자 실시되었다.

재료 및 방법

재료식물

은행나무(*Ginkgo biloba* L.)의 종자는 무게가 약 1.5 g, 그리고 크기가 일정한 것을 골라 흐르는 물에서 2시간 동안 침적시킨 후 모래에 묻어 종자의 개갑을 유도하였고 유근의 길이가 1 mm 정도되는 종자만을 다시 선별하여 수세된 모래를 채운 플라스틱 화분(40×24.5×16 cm)에 이식하였다. 곰솔(*Pinus thunbergii* PARL)의 종자는 24시간 물에 침적시켜서 선별한 종자를 모래에 파종하였다.

인공 산성비의 성분은 1 N 황산(H₂SO₄)과 질산(HNO₃)을

*교신저자: Fax (0652) 70-3362
© 한국식물학회 [서울] 1995

3:1(v/v)의 비율로 혼합하여 지하수로 조제하였고 인공 산성비의 pH는 자연강우인 pH 5.6을 대조구로 하여 pH 4.0, 3.2, 및 2.4로 조정하였으며 유식물이 발아된지 1주일 후부터 플라스틱 분무기로 식물체의 선단으로부터 50 cm 높이에서 분무하여 5분간 매주 3회씩 12주간 처리하였다.

잎의 피해측정

외부 형태의 관찰은 인공산성비의 처리가 종료된 12주 후에 은행나무와 곰솔의 외형적인 피해 정도를 파악하기 위해 잎피해를와 외부형태를 관찰 측정하였다. 잎 피해율은 피해가 나타난 개체당 잎의 수를 전체잎의 수로 나누어 백분율로 나타냈다.

$$\text{잎 피해율(\%)} = \frac{\text{피해잎 수}}{\text{개체당 전체잎 수}} \times 100$$

또한 피사반점의 직경을 측정하여 1, 1-2, 3 mm 이상의 크기로 구분하였다.

조직수준의 관찰

기공의 관찰을 위해서 충분히 전개된 잎을 채취하여 잎의 중륜과 잎 가장자리의 중간 부위에 있는 표피를 벗겨 절편을 만들었다. 잎 표피 절편을 Paliwal(1967)의 방법에 따라 Carnoy's 고정액으로 고정시킨 후 70% 알콜에 보존시켰다. 이렇게 준비된 재료를 아세트카민으로 염색하여 갈리세린으로 봉한 다음 공변세포를 포함한 기공의 길이와 폭을 광학 현미경하에서 25회 반복 측정하여 그 평균값을 취하였다. 기공지수는 Salisbury(1927) 방법에 따라 다음과 같이 값을 구하였다.

$$\text{기공지수} = \frac{\text{기공수}}{\text{전표피수} + \text{기공수}} \times 100$$

영구조직 표본을 만들기 위해서 잎을 FAA에 고정시킨 후 t-butyl alcohol series의 탈수과정을 거쳐 paraffin에 매몰시켰다. 이 재료를 회전식 박편기로 10 μm 두께의 횡단면의 절편을 만들어 safranin, hematoxylin 및 light green으로 삼원 염색하여 관찰하였다(Sass, 1971). pH 5.6, 4.0, 3.2 및 2.4 등의 농도별 네 가지 처리구에서 각각 3개체의 은행나무 잎을 5×5 mm 절편을 만들었고, 곰솔의 침엽은 끝부분에서 1 cm 이상 되는 부위를 약 6 mm 길이로 잘라 재료로 사용하였다. 엽육조직의 세포의 직경과 면적 및 세포간극의 면적은 영상분석기를 이용하여 측정하였다. 또한 은행나무와 곰솔의 잎을 50% glutaraldehyde에 실온에서 2시간 고정된 다음 alcohol series에 따라 탈수시키고 액체 CO₂를 사용하여 critical point

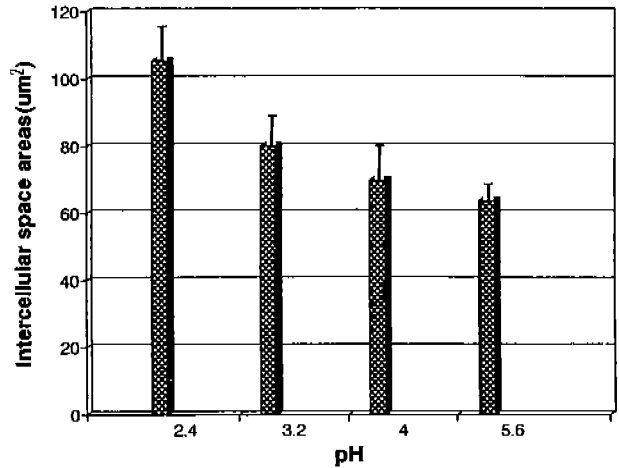


Fig. 1. Intercellular space of *G. biloba* leaves treated with simulated acid rain of different pH level for 12 weeks. Vertical bars represent ± SD.

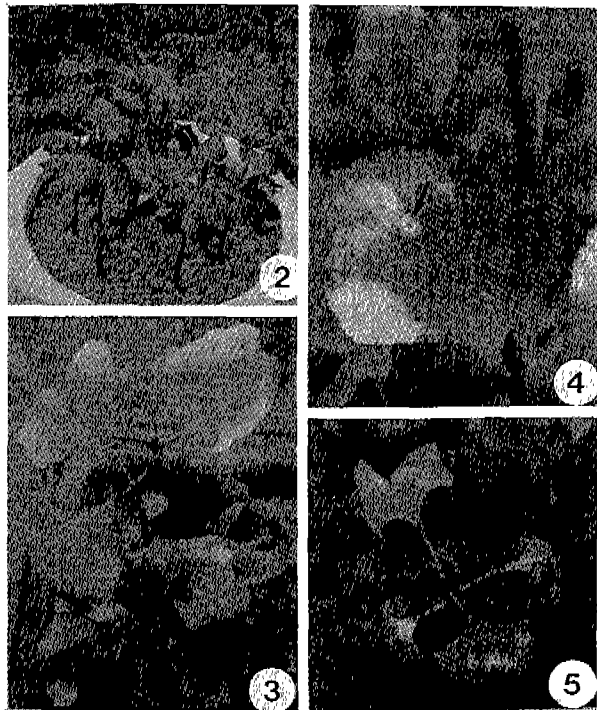
dryer로 건조시킨 재료를 양면테이프로서 stub에 부착하고 ion sputter로 gold coating하여 주사전자현미경(AKASHI SR-50)으로 관찰하였다.

결 과

외부 형태 변화

인공산성비를 처리한 은행나무와 곰솔 잎에서는 피사반점 및 황화현상이 관찰되었다(Figs. 4, 6). 산성비가 처리된 은행나무 유식물 가운데 피사반점이 나타난 경우는 pH 3.2 처리구에서 16%, pH 2.4의 처리구에서는 93%가 나타남으로써 산도가 높아짐에 따라 피사반점의 수가 증가하였다. 잎피해율은 pH 2.4의 처리구에서 83%의 잎에서 나타났고 pH 3.2 처리구에서는 58%로 나타났었다(Table 1). 그러나 pH 4.0 이상의 처리구에서는 잎의 피해가 나타나지 않았다(Fig. 2), 은행나무에서 관찰된 피사반점은 직경 1 mm 이하의 반점이 대부분이며 pH 2.4에서는 직경 3 mm 이상의 피사 반점도 나타났으며(Table 2) 조기낙엽현상을 볼 수 있었다(Fig. 5).

곰솔의 경우 pH 2.4의 산성비 처리구에서 유식물의 황화현상이 다른 처리구에 비해 발아 4주 이내에 나타났다. 침엽 끝부분이 갈변되는 증세는 98%, pH 3.2에서는 34%로 나타났으며 나머지 부분에서는 황화현상을 나타냈다(Figs. 6, 8). 또한 다른 처리구와 달리 pH 2.4의 처리구에서 곰솔유식물의 34% 줄기의 밑부분에 갈색을 나타냈다(Fig. 7), pH 4.0에서는 6%의 유식물만이 끝부분이 갈변되는 증세를 보였으며 pH 5.6에서는 피해 부위가 나타나지 않았다(Fig. 9).



Figs. 2-5. Photographs of *G. biloba* treated with simulated acid rain of pH 5.6 (Fig. 2) and pH 2.4 (Figs. 3-5). Fig. 2. Leaves treated with pH 5.6 showing normal appearance. Fig. 3 and 4. Leaves treated with simulated acid rain of pH 2.4 showing necrotic spots and chlorosis (arrow). Fig. 5. Injured leaves showing early senescence by simulated acid rain of pH 2.4.

Table 1. Macroscopic injury of foliage leaves of *G. biloba* and *P. thunbergii* treated with simulated acid rain of different pH level

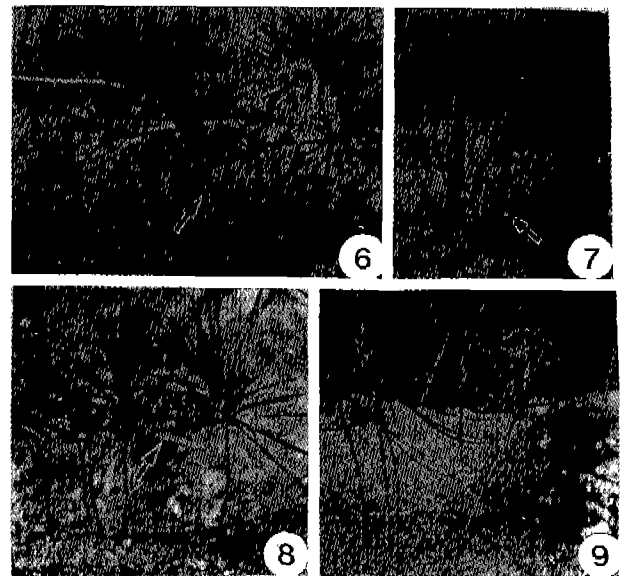
Species	pH	Lesion type	% of plants injured
<i>Ginkgo biloba</i>	2.4	necrotic spot	93
	3.2	necrotic spot	16
	4.0	no lesion	0
	5.6	no lesion	0
<i>Pinus thunbergii</i>	2.4	tipburn and chlorosis	98
	3.2	tipburn and chlorosis	34
	4.0	tipburn	6
	5.6	no lesion	0

앞표면 구조의 관찰

은행나무에서는 pH 2.4의 인공산성비 처리로 잎 표면의 구조 변화와 왁스층의 침식이 매우 심하게 나타났으며(Fig. 10) pH 3.2의 처리구에서는 잎 표면 구조의 변화는 보이지 않았지만 왁스층에 약간의 침식이 있었다(Fig. 11). 또한 잎의 절단면의

Table 2. Symptoms observed on foliage leaf of *G. biloba* seedling treated with simulated acid rain of different pH level

pH	% of plants injured	Total number of leaf injured			
		Diameter of Necrotic lesions			Total
		>1 mm	1-2 mm	<3 mm	
2.4	83	20	9	9	38
3.2	58	12	5	—	17
4.0	0	—	—	—	—
5.6	0	—	—	—	—



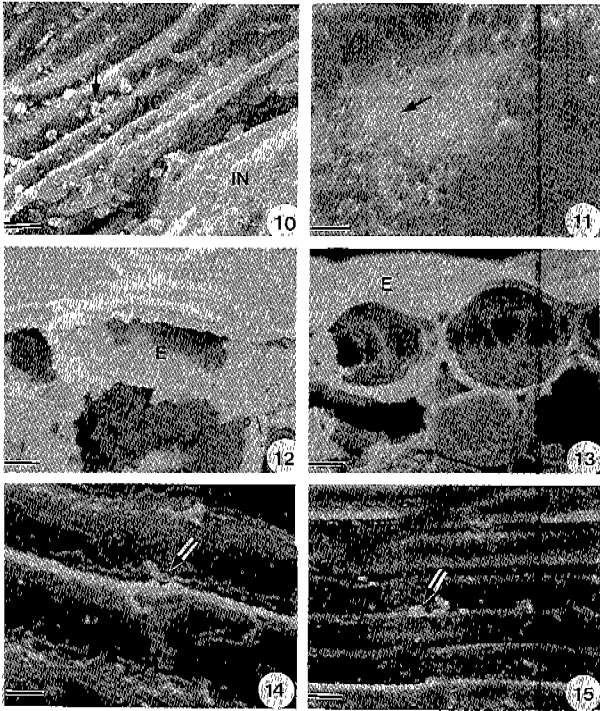
Figs. 6-9. Photographs of *P. thunbergii* treated with simulated acid rain of pH 2.4 (Figs. 6 and 7) and pH 5.6 (Fig. 9). Fig. 6. Needles showing tip burn and chlorosis (arrow). Fig. 7. Stem with developing periderm (arrow). Fig. 8. Needles of *P. thunbergii* exposed to simulated acid rain of pH 3.2 show a chlorosis (arrow). Fig. 9. Needles treated with pH 5.6 showing normal appearance.

관찰에서 pH 2.4 처리에서 표피세포가 붕괴되었다(Fig. 12). 그러나 pH 4.0 이상의 처리구에서는 왁스층이 잘 발달되어 있으며 잎 표면 구조의 변화도 나타나지 않았다(Fig. 13).

곰솔의 주사전자현미경에 의한 관찰에서는 잎 표면 구조의 변형을 관찰할 수 없었으나 pH 3.2에서 왁스층이 매우 심하게 용해 침식되었고 pH 4.0에서도 심한 왁스층의 침식을 보여주었다(Figs. 14-15).

조직학적 관찰

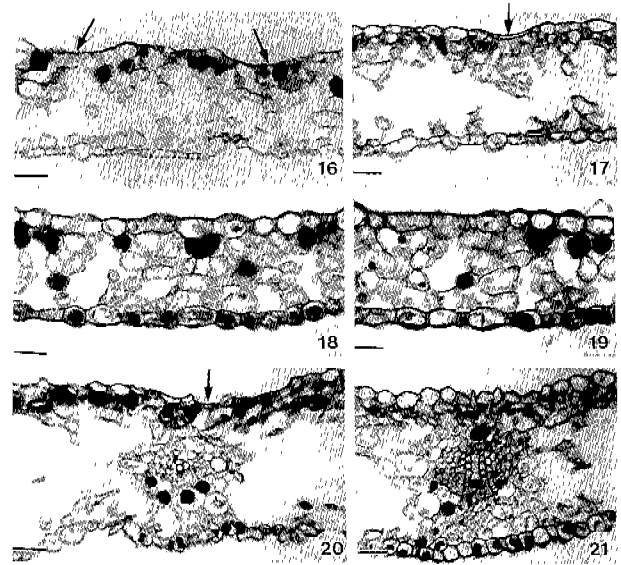
은행나무 잎에 pH 2.4의 처리를 하였을 때 표피세포는 압



Figs. 10-15. Scanning electron micrographs of leaf of *G. biloba* and *P. thunbergii* treated with simulated acid rain. Figs. 10-13. Surface and transverse view of *G. biloba* leaf. Wax erosions (arrow) on the abaxial surface in treatment with pH 2.4 (Fig. 10) and pH 3.2 (Fig. 11). Depressed epidermal cells in treatment with pH 2.4 (Fig. 12). Normal leaf structure in treatment with pH 5.6 (Fig. 13). Wax erosions (arrow) on abaxial needle surface of *P. thunbergii* treated with simulated acid rain of pH 3.2 (Fig. 14) and pH 4.0 (Fig. 15) respectively. NC, necrotic region; In, intact region; E, epidermal cell. Bars represent 16.5 μm (Fig. 10), 3 μm (Fig. 11), 8.3 μm (Figs. 12 and 13), 5 μm (Fig. 14) and 25 μm (Fig. 15).

착되고 엽육조직의 세포들이 수축되었다. 이러한 표피세포의 구조적 변화는 주로 유관속조직 가까운 표피에서 발생하였다 (Fig. 16). pH 3.2 처리에서 표피세포의 부분적인 붕괴가 나타났고 해면조직의 수축이 두드러졌다 (Fig. 17). pH 4.0과 5.6에서는 표피세포가 정상적 구조를 하고 있었으며 세포 배열이 치밀하였다 (Figs. 18-19). 유관속 조직의 구조는 산성비의 영향을 받지 아니하고 정상적이었다 (Figs. 20-21).

엽육세포의 크기에서 책상조직 세포의 면적은 pH 5.6인 대조구 8.7 μm^2 에 비해서 pH 4.0 처리시 8.5 μm^2 , pH 3.2에서 6.3 μm^2 , pH 2.4에서 6.7 μm^2 로 산도가 높을수록 세포의 크기가 작아졌다. 해면조직 세포의 면적 역시 대조구의 8.5 μm^2 보다 pH 3.2 이하에서는 작아지는 경향이 있었다 (Table 3) 또한 책상조직 세포의 직경은 대조구에서 4.8 μm , pH 4.0에서 4.7 μm , pH 3.2에서 3.9 μm , pH 2.4 처리시 4.0 μm 로 pH 3.2



Figs. 16-21. Transverse sections of *G. biloba* leaf treated with simulated acid rain. Severely compressed epidermal cells (arrows) and plasmolyzed mesophyll cells are observed in treatment with pH 2.4 (Fig. 16), and abaxial epidermal cells (arrow) are partially collapsed in treatment with pH 3.2 (Fig. 17), but those cells are normal in treatment with pH 4.0 and 5.6 (Figs. 18 and 19). Vascular bundle is normal in both treatments with pH 2.4 (Fig. 20) and pH 5.6 (Fig. 21). Bars represent 80 μm (Figs. 16-19 and 21) and 50 μm (Fig. 20).

Table 3. Dimension of mesophyll cells of *G. biloba* treated with simulated acid rain of different pH level for 12 weeks in transverse section

pH	Mesophyll	Area (μm^2)	Diameter (μm)
2.4	P	6.72 \pm 1.78 ^a	3.98 \pm 0.60
	S	6.52 \pm 1.75	3.27 \pm 0.52
3.2	P	6.26 \pm 2.09	3.85 \pm 0.82
	S	5.11 \pm 1.18	3.19 \pm 0.50
4.0	P	8.47 \pm 2.08	4.74 \pm 0.75
	S	8.35 \pm 2.03	4.12 \pm 0.78
5.6	P	8.73 \pm 1.93	4.77 \pm 0.63
	S	8.52 \pm 1.93	4.85 \pm 0.78

^aMean and standard deviation of mean (n=30); P, Pallisade parenchyma cells; S, Sponge parenchyma cells.

이하의 높은 산도에서 작았고 해면조직 세포의 직경의 경우도 책상조직 세포와 같은 유사한 경향을 나타내었다 (Table 3). 해면조직의 세포간극은 대조구에서 63.9 μm^2 로 엽육세포의 배열이 치밀하지만 pH 2.4 처리시 105.4 μm^2 , pH 3.2에서 80.3 μm^2 , pH 4.0에서 69.9 μm^2 로서 산도가 높을수록 세포간극이 커지는 경향이 있었다 (Fig. 1).

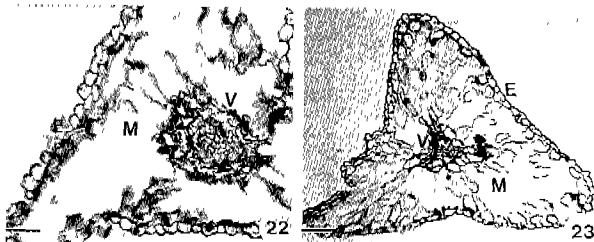
한편 곰솔 침엽은 pH 2.4 처리시 표피세포는 정상적이었으나

해면조직이 심하게 수축되고 유관속 조직이 찌그러져 있었다 (Fig. 22). 대조구인 pH 5.6에서는 표피세포 및 엽육세포의 구조는 정상적이었다(Fig. 23).

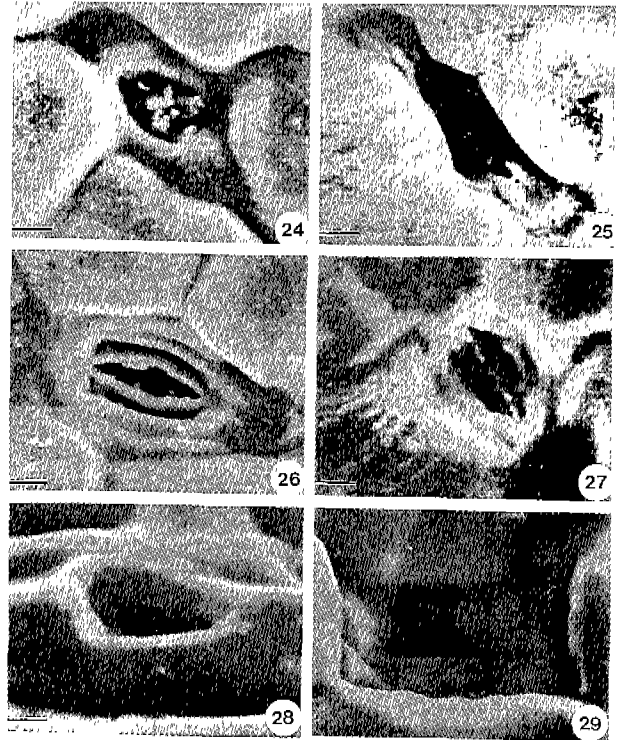
은행나무 잎의 기공의 길이는 대조구에서 47.2 μm , pH 2.4 처리시 44.7 μm , pH 3.2에서 44.6 μm , pH 4.0 처리시는 50.9 μm 로서 기공에 미치는 산성도의 영향은 그다지 크지 않았다. 기공의 폭은 대조구에서 33.3 μm , pH 2.4에서 34.9 μm , pH 3.2에서 34.0 μm , pH 4.0에서 35.0 μm 로서 거의 비슷한 양상이었다(Table 4). 기공의 길이와 폭의 비는 산성비의 처리구에 관계없이 동일한 등근 원형으로 나타났다. 기공의 공극의 크기는 산성도가 높아짐에 따라 크게 나타났으며 단위면적당 기공지수는 산성도가 높아짐에 따라 증가하였다. 산성비의 처리를 하면 기공은 열려 있었고 pH 5.6에서는 기공이 모두 닫혀 있었다(Figs. 24-27). 곰솔의 경우도 은행나무의 경우와 마찬가지로 산성비의 처리시 기공이 열려 있었고 pH 5.6에서는 닫혀 있었다(Figs. 28-29).

고 찰

은행나무와 곰솔의 산성비에 대한 잎피해의 감수성의 차이는 잎피해율과 잎표면 구조의 변화로 볼 때 곰솔이 은행나무에



Figs. 22-23. Transverse sections of *P. thunbergii* leaf treated with simulated acid rain. Mesophyll cells of leaf treated with pH 2.4 (Fig. 22) are severely shrunk and vascular tissues are distorted but leaf treated with pH 5.6 (Fig. 23) is normal. E, Epidermis; M, Mesophyll; V, Vascular bundle, Bar represent 200 μm (Fig. 22) and 120 μm (Fig. 23).



Figs. 24-29. Scanning electron micrographs of stomata of *G. biloba* and *P. thunbergii* treated with simulated acid rain. Figs. 24-26. An opened stoma on the abaxial leaf surface of *G. biloba* treated with simulated acid rain of pH 2.4, 3.2 and 4.0 respectively. Bars represent=13.0 μm . Fig. 27. A closed stoma on the abaxial leaf surface of *G. biloba* after exposure to simulated acid rain of pH 5.6. Bar represent=13.0 μm . Figs. 28 and 29. Open or closed stoma on the abaxial needle surface of *P. thunbergii* treated with simulated acid rain of pH 2.4 (Fig. 28) and pH 5.6 (Fig. 29) respectively. Bars represent 25 μm (Fig. 28) and 5 μm (Fig. 29).

Table 4. Stomatal characteristic of *G. biloba* seedling exposed to simulated acid rain of different pH level (unit, μm)

pH	Stomata			Aperture		Index
	Length	Width	W/L	Length	Width	
2.4	44.70± 4.70	34.86± 2.85	0.78	17.25± 4.06	6.35± 1.24	12.58± 1.06
3.2	44.60± 3.08	34.00± 2.23	0.76	15.76± 2.43	5.90± 1.11	11.49± 2.59
4.0	50.85± 2.80	35.00± 2.65	0.69	17.00± 2.47	5.15± 1.18	10.61± 2.04
5.6	47.15± 2.43	33.30± 2.10	0.71	15.90± 2.02	3.90± 1.37	9.71± 1.26

부분이 갈변되는 증세를 보이며 황화현상이 나타났다. 이와 같은 황화 현상과 잎의 노화가 가속화되는 것은 인공산성비가 엽록소를 파괴한 결과로 생각된다(Kim and Soh, 1994). pH 2.4의 처리구에서 곰솔 줄기 밑부분이 갈색을 나타내는 것은 인공산성비의 스트레스에 대한 보호기작으로 주피가 발달한 때문인 것으로 보인다.

일표면 구조의 관찰 결과 은행나무 잎은 pH 3.2 이하의 처리구에서 왁스층의 침식이 일어난 반면 곰솔의 경우 pH 4.0 이하의 처리구에서 왁스층의 침식이 일어났으며 산성도가 높아짐에 따라 침식이 심하였다. 이것은 산성도가 높아짐에 따라 산성비에 의한 표면 왁스층의 침식이 심해지고 각피층외부 왁스층과 구조의 변화가 잎의 습윤도를 증가시킴으로써 잎의 피해가 커진 것으로 사료된다.

조직학적인 관찰에서 은행나무잎의 피해는 주로 표피세포와 해면조직의 파괴로 나타났으며 유관속 조직의 구조적 변화는 관찰되지 않았다. 그런데 Lee 등(1993)은 은행나무에 대한 pH 2.5 처리구에서 유관속 조직과 표피세포가 현저히 파괴된다는 보고를 한 바 있다. 이와 같이 본 실험 결과와 상반되는 유관속조직의 파괴 원인은 알 수 없으나 조직표본 제작과정 중의 인위적인 요인이었을 가능성을 예상할 수 있다. 또한 인공산성비가 *Quercus palustris*, *Tradescantia*에서 엽육세포의 이상비대현상을 일으키는 것으로 보고된 것(Evans and Curry, 1979)과는 달리 본 실험에서 엽육조직에서 세포의 이상비대현상은 관찰되지 않았다. 낙엽수종과 송백류의 엽육에서는 세포 붕괴와 비정상적인 분열 또는 이상비대의 형태로 나타난다는 보고(Evans and Curry, 1979; Maurice and Crang, 1986)와 산성비를 처리한 잣나무와 은행나무 잎에서 비대현상이 나타나지 않은 보고가 있다(Kim, 1986). 그러므로 산성비에 의한 엽육세포의 비대현상은 종에 따라 다른 것으로 생각된다. 은행나무잎의 피해 범위는 유관속 조직에 인접한 상면표피에서 주로 발생하였으며 기공과는 관계없이 나타났다. 인공산성비에 대한 피해가 주로 잎맥, 모용과 기공 등이 가까운 부위에서 발생한다는 보고(Evans et al., 1977; Evans and Curry, 1979)와 강남콩에서는 모용과 기공이 관련이 없다는 보고가 있으나(Papozzi and Tukey, 1983) 이와 같은 차이는 표피 세포의 구조와 관련이 있을 것으로 생각되며 피해의 정도는 인공산성비의 산도와 잎면적, 잎의 습윤도에 따라 영향을 받을 것으로 사료된다.

엽육조직 세포들의 크기가 pH 3.2 이하의 높은 산도일수록 작고 세포간극이 넓어진 것은 엽육세포들이 산성비의 영향으로 수축 또는 붕괴되어 상대적으로 세포간극이 커진 것으로 생각된다. 산성안개의 영향에 의한 유사한 결과가 스트루부스 소나무와 튜립나무에서 보고되었다(Crang and McQuattie, 1986; Maurice and Crang, 1986).

곰솔의 경우는 pH 2.4에서 은행나무와는 달리 표피세포보다 엽육조직과 유관속조직의 수축이 현저하였다. 곰솔에서의 인공산성비에 대한 피해는 pH가 낮아질수록 잎의 저항성이 감소되어 산성비물의 SO_4^{2-} 의 흡수가 증가되어(Evans, 1984) 기공의 개폐기능을 변화시킴으로써 침엽의 피해가 건조 상태의 스트레스를 받은 것과 비슷한 상태를 보인 것으로 생각된다. pH 5.7의 산성비를 맞은 잎에 비하여 pH 2.7-3.4 산성비에 노출된 잎에서 기공의 확산저항성이 훨씬 낮은 결과 잎이 시들거나 수분 스트레스를 받게 된다는 보고가 있다(Evans, 1982). 표피세포의 붕괴없이 내부 조직의 피해가 일어나는 반응에 대한 기작은 아직 알려지지 않았다(Adams et al., 1984).

은행나무의 기공의 크기와 형태의 변화는 없었으나 강산성에서 기공지수는 증가하며 공극의 크기도 커졌다. 한편 산성비가 처리된 은행나무와 곰솔의 기공은 주로 열려 있었다. 이같은 결과는 기공의 크기와 형태의 변화에는 영향을 미치지 않으나 기공의 개폐 기작에는 영향을 미친다고 해석될 수 있을 것이다. 또한 오염물질의 흡수가 증가되어 기공을 통한 수분 발산 능력이 감소된 데 따른 보상기작으로써 기공의 분포가 증가하는 것으로 추정된다. *Artemisia tilesii*의 산성비에 의해 손상된 표피세포와 그 주변세포들의 기공은 열려있는 반면 손상되지 않은 표피세포의 기공들은 닫혀 있으며 기공의 공극의 크기가 다르다는 보고가 있다(Adams et al., 1984). 강산성의 인공산성비 처리에 의해 상수리 나무와 은행나무의 기공 저항성이 증가된 것은 인공산성비에 의해 발생한 잎 표면 왁스층의 용해와 침식이 기공의 개폐 기작에 영향을 주는 것으로 보고되었다(Lee et al., 1993).

인 용 문 헌

- Adams, C.M., N.G. Dengler and T.C. Hutchinson. 1984. Acid rain effects on foliar histology of *Artemisia tilesii*. *Can. J. Bot.* **62**: 463-474.
- Crang, R.E. and C.J. McQuattie. 1986. Qualitative and quantitative effects of acid misting and two air pollutants on foliar structures of *Liriodendron tulipifera*. *Can. J. Bot.* **64**: 1237-1243.
- Evans, L.S. 1982. Biological effects of acidity in precipitation on vegetation: A Review. *Environ. Exp. Bot.* **22**: 155-169.
- Evans, L.S. 1984. Botanical aspects of acidic precipitation. *Bot. Rev.* **50**: 450-490.
- Evans, L.S. and T.M. Curry. 1979. Differential responses of plant foliage to simulated acid rain. *Am. J. Bot.* **66**: 953-962.
- Evans, L.S., N.F. Gmur and F. DaCosta. 1978. Foliar response of six clones of hybrid poplar to simulated acid rain. *Phytopathology* **68**: 847-856.
- Evans, L.S., N. Gmur and J.J. Kelsch. 1977. Perturbations

- of upper leaf surface structures by acid rain. *Environ. Exp. Bot.* **17**: 145-149.
- Ferenbaugh, R.W.** 1976. Effects of simulated acid rain on *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae) *Am. J. Bot.* **63**: 283-288.
- Heagle, A.S., W.W. Heck, W.M. Knott, J.W. Johnston, E.P. Stahel and E.B. Cowling.** 1978. Responses of citrus to acidic rain from simulated SRM fuel exhaust mixtures and exhaust components.
- Jacobson, J.S.** 1980. Experimental studies on the phytotoxicity of acidic precipitation: The United States experiment. In *Effects of Acid Precipitation on Terrestrial Ecosystems*. T.C. Hutchinson and M. Havas (eds.). Plenum Press, New York. pp. 151-160.
- Jacobson, J.S. and P. Van Leuken.** 1977. Effects of acidic precipitation on vegetation. 4th. *Proc. Int. Clean Air Congr.*, pp. 124-127.
- Johnston, J.W. JR., D.S. Shriner, C.I. Klarer and D.M. Lodge.** 1982. Effect of rain pH on senescence, growth and yield of bush bean. *Environ. Exp. Bot.* **22**: 329-337.
- Kim, G.T.** 1986. Histological changes in *Pinus koraiensis* needles and *Ginkgo biloba* leaves treated with simulated acid rain, drought and salt solution. *Jour. Korean For. Soc.* **73**: 55-62.
- Kim, M.R. and W.Y. Soh.** 1994. Growth response of *Ginkgo biloba* and *Pinus thunbergii* exposed on simulated acid rain. *Jour. Plant Biol.* **37**: 93-99.
- Lang, D.S., S.W. Krupa and D.S. Shriner.** 1978. Injury to vegetation incited by sulfuric acid aerosols and acidic rain. *Proc. Annu. Meet. Air Pollut. Control Assoc.* **71**: 1-15.
- Lee, K.H., G.C. Chung and J.S. Lee.** 1993. Effects of simulated acid rain on stomatal resistance, wettability and anatomical changes in *Quercus acutissima* and *Ginkgo biloba* seedlings. *Jour. Korean For. Soc.* **82**: 337-346.
- Lee, J.J., G.E. Neely, S.C. Perrigan and L.C. Grothaus.** 1981. Effect of simulated sulfuric acid rain on yield, growth and foliar injury of several crops. *Environ. Exp. Bot.* **21**: 171-185.
- Maurice, C.G. and R.E. Crang.** 1986. Increase in *Pinus strobus* needle transectional areas in response to acid misting. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **15**: 77-82.
- Mohamed, M.B.** 1978. Response of vegetable crops to acid rain under field and simulated conditions. Ph. D. thesis. Cornell Univ., Ithaca, N.Y.
- Paliwal, G.S.** 1967. Permanent peel mounts for developmental studies of stomata in leaves. *Curr. Sci (India)* **36**: 191.
- Paparozi, E.T. and H.B. Tukey, Jr.** 1983. Developmental and anatomical changes in leaves of yellow birch and red kidney bean exposed to simulated acid precipitation. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* **108**: 890-898.
- Salisbury, E.J.** 1927. On the causes and ecological significance of stomatal frequency with special reference to the wood land flora. *Phil. Trans. R. Soc. B.* **216**: 1-65.
- Sass, J.E.** 1971. *Botanical Microtechnique*. 3rd. Ed., Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, pp. 55-77.
- Shriner, D.S., M.E. Docot and E.B. Cowling.** 1975. Simulated acidic precipitation cause direct injury to vegetation. *Proc. Am. Phytopath. Soc.* **1**: 112.

(1994. 11. 28 接受)

Effect of Simulated Acid rain on Foliar Structural of
Changes of *Ginkgo biloba* and *Pinus thunbergii*

Kim, Myoung Ran and Woong Young Soh*

Department of Biology, Chonbuk National University, Chonju 560-756, Korea

ABSTRACT

Visible injury symptoms such as necrosis, chlorosis and premature senescence in the leaves of *Ginkgo biloba* and *Pinus thunbergii* treated with acid rain of pH 3.2 or below were observed. The epicuticular wax erosions were observed by SEM after exposure to acid rain of pH 2.4 and 3.2 in *G. biloba* and pH 4.0 below in *P. thunbergii*. The adaxial epidermal cells and sponge parenchyma cells were compressed, and those were distorted in the leaves of *G. biloba* treated with simulated acid rain of pH 3.2 or below. However, vascular tissue was intact. With increase of acidity, mesophyll cells were smaller than those of control while intercellular space in mesophyll was increased. In *P. thunbergii*, sponge parenchyma cells and vascular tissue except epidermis were distorted after exposure to acid rain of pH 2.4. The size change of stomata in foliar injury was not observed, but the stomatal index and size of stomatal aperture in leaves treated with acid rain increased. The stomata of injured leaf were opened in both species examined.

Keywords : acid rain, epicuticular wax, stomata, *Ginkgo biloba*, *Pinus thunbergii*

*Corresponding author: Fax +82-652-70-3362